



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

TEMA:

**PRODUCCIÓN DE DIESEL ULTRA BAJO
AZUFRE (UBA) EN LA UNIDAD 700 DEL
SECTOR HIDROS REFORMADORA NO. 1**

DESARROLLADO POR:

AMEYDALI MORALES LÓPEZ

NO. DE CONTROL: **13270802**

ASESOR INTERNO:

ING. JORGE CIRO JIMÉNEZ OCAÑA

ASESOR EXTERNO:

ING. GASPAR JIMÉNEZ ROMANO

TUXTLA GUITÉRREZ, CHIS. A ENERO DEL 2018.

CONTENIDO

ÍNDICE DE GRAFICAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	3
INTRODUCCIÓN	4
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	6
PROBLEMAS A RESOLVER.....	7
CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA EN QUE PARTICIPÓ	8
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	8
LOCALIZACIÓN.....	9
MISIÓN	9
VISIÓN	9
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	10
ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	11
FUNDAMENTO TEÓRICO	12
PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	20
RESULTADOS	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....	40

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Temperatura de destilación al 10% en Diesel producido en la U-700.....	Pág. 26
Gráfica 2. Temperatura de destilación al 50% en Diesel producido en la U-700.....	Pág.26
Gráfica 3. Temperatura de destilación al 90% en Diesel producido en la U-700.....	Pág.27
Gráfica 4. Temperatura de fluidez en Diesel producido en la U-700.....	Pág. 27
Gráfica 5. Índice de cetano en Diesel producido en la U-700.....	Pág. 28
Gráfica 6. Azufre total en Diesel producido en la U-700.....	Pág. 28
Gráfica 7. Residuos de carbón Ramsbotton en Diesel producido en la U-700.....	Pág.29
Gráfica 8. Lubricidad en Diesel producido en la U-700.....	Pág. 29
Gráfica 9. Lubricidad en Diesel producido en la U-700.....	Pág.30
Gráfica 10. Grados API de la carga al reactor DC-701.....	Pág.31
Gráfica 11. Azufre total en la carga al reactor DC-701.....	Pág.32
Gráfica 12. Carga al reactor DC-701.....	Pág.32
Gráfica 13. Temperaturas en el Reactor DC-701.....	Pág.33
Gráfica 14. Temperatura Promedio Ponderada del Lecho.....	Pág.33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logo de Petróleos Mexicanos.....	Pág.8
Figura 2. Localización de la Refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”	Pág.9
Figura 3. Estructura organizacional, Sector Hidros-Reformadora No.1.....	Pág.11
Figura 4. Inventario Nacional de Emisiones.....	Pág.13
Figura 5. Reacciones de hidrosulfuración.....	Pág.21
Figura 6. Diagrama de flujo de la unidad 700.....	Pág.23
Figura 7. Especificaciones para Diesel.....	Pág.24
Figura 8. Diagrama de cargado del Reactor DC-701.....	Pág.31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presiones parciales de Hidrógeno.....	Pág.16
Tabla 2. Temperatura promedio.....	Pág.17
Tabla 3. Velocidad Espacial.....	Pág.18
Tabla 4. Relación H ₂ /HC.....	Pág.19
Tabla 5. Propiedades de crudos mejorados obtenidos a partir de crudos de 10 y 16°API durante la prueba semi-industrial de la tecnología IMP.....	Pág.34
Tabla 6. Comparación de especificaciones para Diesel UBA.....	Pág.37

INTRODUCCIÓN

La refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime” fue puesta en marcha en 1979 para abastecer las demandas de crudo y destilados en todo el litoral del pacífico, ubicándose como la más grande de México, ya que cuenta con capacidad para procesar 330,000 BPD de crudo.

El petróleo crudo que se extrae de los yacimientos localizados en los estados de Tabasco, Chiapas y la Sonda de Campeche, se concentra en la estación de recolección y bombeo, ubicada en Nuevo Teapa, Ver. Parte de este crudo se envía través de dos oleoductos, hasta la refinería. El crudo, sea para su procesamiento o para exportación, se almacena en tanques de 100, 200 y 500 mil barriles. Para el manejo de los hidrocarburos y productos, la refinería cuenta con una capacidad de 14 millones de barriles en 125 tanques, de los cuales 20 almacenan materias primas, tales como crudo Istmo, Maya y sus mezclas y metanol; 39 para productos intermedios como gasolina primaria, slop, base nova, querosina primaria, turbosina primaria, diesel primario, aceite cíclico ligero, gasóleos, residuos catalíticos, aceite recuperado y 66 para productos finales: butano-butileno, propileno, gas LPG, gasolina Pemex Magna, turbosina, tractomex, diesel desulfurado, Pemex Diesel, combustóleo, TAME y MTBE.

En el presente trabajo se analizarán los parámetros con los que se produce el Diesel UBA y si estos cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas que rigen la producción de esto. Además de proponer tecnologías para aplicar en la refinería.

JUSTIFICACIÓN

Los combustibles fósiles encabezan las listas de mayores contaminantes del medio ambiente, siendo uno de ellos el diesel.

El diesel que producía PEMEX en la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime” tiene alto contenido de azufre lo que significa una alta emisión de bióxido de azufre a la atmosfera. Para regularizar estas emisiones contaminantes al medio ambiente, en el año 2005 se modificó la NOM-086-SEMARNAT y se publicó en enero del 2006 la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, “Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental”; además que en el 2015 se publicó la norma oficial mexicana de emergencia NOM-EM-005-CRE-2015, “Especificaciones de calidad de los petrolíferos”.

Por lo anterior, la producción de Diesel ultra bajo azufre es primordial para dar cumplimiento a estas normas además de cuidar el medio ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción de Diesel Ultra Bajo Azufre (UBA) en la unidad 700 del sector Hidros Reformadora No.1, conforme a las Normas Mexicanas vigentes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso para producir Diesel UBA en la unidad 700.
- Analizar los parámetros de producción de Diesel UBA en la unidad 700.
- Evaluar el desempeño del catalizador usado en la unidad 700.
- Analizar y proponer nuevas tecnologías de proceso para producir Diesel UBA que cumplan con las normas y reglamentos nacionales e internacionales.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Verificar que se esté produciendo Diesel UBA en la unidad 700 del sector Hidros-Reformadora No.1
- Determinar si el catalizador Impulse HR 1246 de Axens puede continuar su vida útil en el reactor DC-701.

CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA EN QUE PARTICIPÓ.

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime inició sus operaciones en el mes de abril de 1979, ocupa una superficie total de 600 hectáreas localizadas en la ciudad y puerto de Salina Cruz, Oaxaca.

A partir de la puesta en operación de la Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime, ésta ha registrado un constante crecimiento que la ubica como la más grande del sistema petrolero de refinación en el contexto nacional, con capacidad para procesar 330,000 BPD de crudo.



Figura 1. Logo de Petróleos Mexicanos. (pemex.com)

El petróleo crudo que se extrae de los yacimientos localizados en los estados de Tabasco, Chiapas y la Sonda de Campeche, se concentra en la estación de recolección y bombeo, ubicada en Nuevo Teapa, Ver. Parte de este crudo se envía través de dos oleoductos hasta la refinería. El crudo, sea para su procesamiento o para exportación, se almacena en tanques de 100, 200 y 500 mil barriles. Para el manejo de los hidrocarburos y productos, la refinería cuenta con una capacidad de 14 millones de barriles en 125 tanques, de los cuales 20 almacenan materias primas, tales como crudo Istmo, Maya y sus mezclas y metanol; 39 para productos intermedios como gasolina primaria, slop, base nova, querosina primaria, turbosina primaria, diesel primario, aceite cíclico ligero, gasóleos, residuos catalíticos, aceite recuperado y 66 para productos finales: butano-butileno, propileno, gas LPG, gasolina Pemex Magna, turbosina, tractomex, diesel desulfurado, Pemex Diesel, combustóleo, TAME y MTBE.

La distribución de los productos refinados se efectúa a través de la Terminal de Ventas Terrestre localizada en Salina Cruz, Oax; la cual abastece la zona de influencia que conforman las agencias de ventas del estado de Oaxaca; las de Tuxtla Gutiérrez, Arriaga y Tapachula, en el estado de Chiapas; así como a los estados de Veracruz, Tabasco, Yucatán y México. Asimismo, resulta de mucha importancia la Terminal Marítima de Pemex Refinación enclavada en la costa, aproximadamente a 10 Km de la refinería. Por esta Terminal y a través de buque-tanques se exporta el petróleo crudo y se transporta combustible a los estados mexicanos localizados en el litoral del Pacífico.

LOCALIZACIÓN

La refinería se localiza en el kilómetro 3 de la carretera transístmica, que conecta a Salina Cruz y Tehuantepec. Se encuentra entre las Colonias Boca del Río y Petrolera.

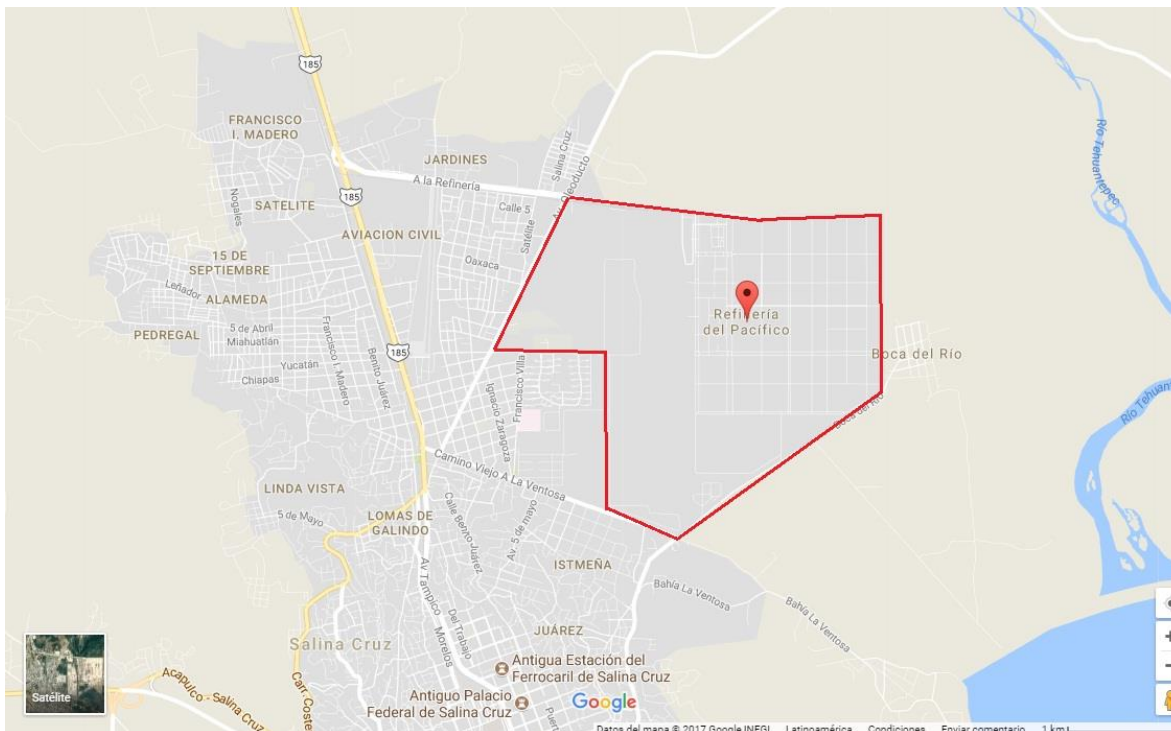


Figura 2. Localización de la Refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”. (Google Maps)

MISIÓN

Satisfacer la demanda nacional de productos petrolíferos y maximizar el valor económico de la empresa, mediante la operación y el desarrollo eficientes, competitivos y sustentables, para atender las necesidades de sus clientes y contribuir al fortalecimiento global de Pemex, en un marco de seguridad industrial.

VISIÓN

Pemex Refinación debido a su excelencia y productividad abastece la demanda nacional y participa en el mercado internacional con productos de calidad que generan resultados financieros positivos y mantiene los más altos estándares de seguridad y protección al medio ambiente.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

El sector Hidros-Reformadora No.1 se encuentra dentro de la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, está constituido por 6 unidades las cuales son:

- U-300: Regeneración continua de catalizador.
- U-400: Hidrodesulfuradora de Naftas.
- U-500: Reformadora de Naftas.
- U-600: Tratadora y Fraccionadora de hidrocarburos/Tratadora de gases amargos.
- U-700: Hidrodesulfuradora de destilados intermedios.
- U-800: Hidrodesulfuradora de destilados intermedios.

Los principales productos finales obtenidos en el sector son: Gasolina reformada, gasolina desulfurada, LPG, turbosina desulfurada, diésel desulfurado y pentanos/hexanos.

La unidad 700, Hidrodesulfuradora de destilados intermedios, diseñadas por el Instituto Mexicano del Petróleo para la refinería de Salina Cruz, Oax., tiene una capacidad para procesar 25000 BPD de cargas de nafta pesada o mezclas de gasóleos, así como cualquier carga intermedia a las anteriores.

El proceso empleado se basa en la hidrogenación catalítica de los compuestos de azufre y olefinas presentes en las diversas cargas, obteniéndose productos dentro de las especificaciones requeridas.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

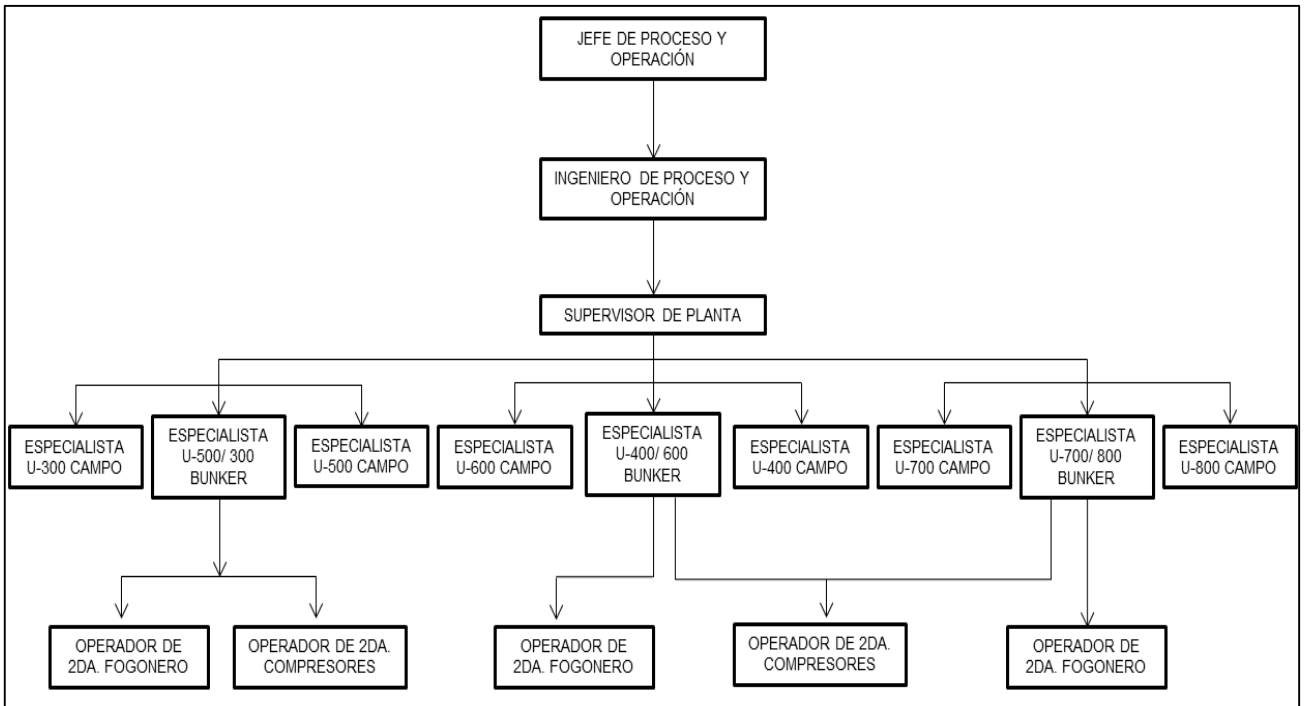


Figura 3. Estructura organizacional, Sector Hidros-Reformadora No. 1. (SIA Pemex).

FUNDAMENTO TEÓRICO

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado combustión completa. (Martínez et al. 2004).

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MÉXICO.

La contaminación del aire en muchas ciudades de México proviene predominantemente de los automóviles, autobuses y camiones que recorren las calles y carreteras. La mayoría de estos vehículos no tienen controles de contaminación adecuados, ni utilizan combustibles especialmente limpios. En contraste con los vehículos con una tecnología avanzada que operan con combustibles con un contenido de azufre muy bajo, pueden tener reducción de emisiones tan grandes como del 99%, comparada con un automóvil promedio, y una reducción del 97% en el caso de los camiones. (Molina, 2004).

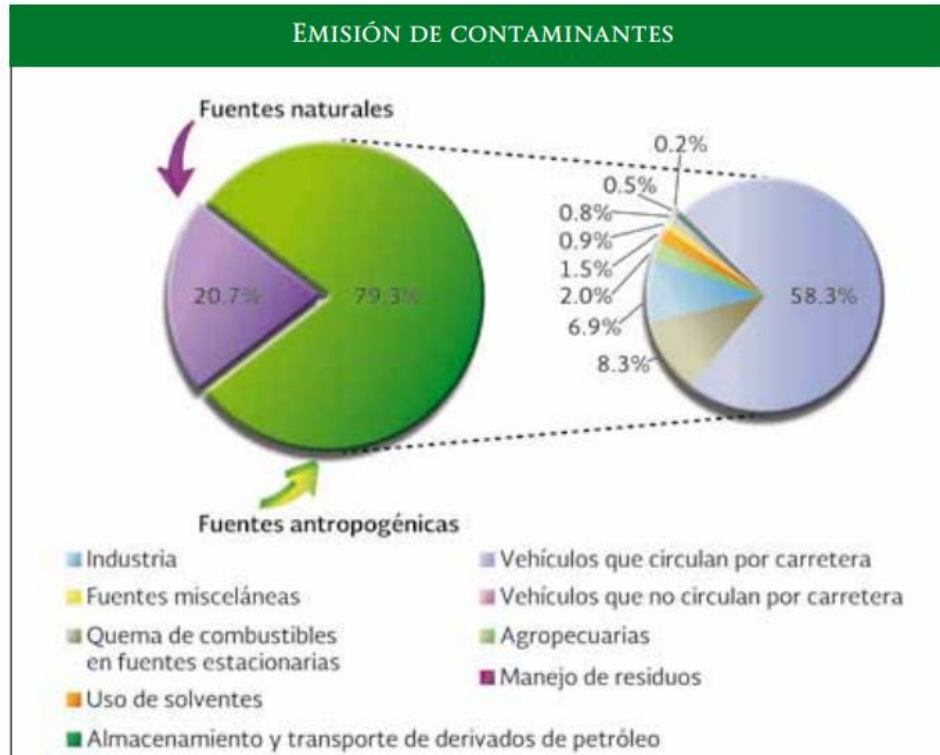


Figura 4. Inventario Nacional de Emisiones, (Semarnat/DGGCARETC 2008).

COMBUSTIBLES LIMPIOS EN MÉXICO

El primer componente en el esfuerzo para limpiar el medio ambiente de México incluye la limpieza de los combustibles, tanto gasolinas como diesel. Las normas de vehículos más estrictas tienen como requisito los combustibles limpios. Actualmente México tiene algunos de los combustibles vehiculares de la más alta calidad en América Latina (Barajas, 2006). De hecho, el 30 de enero de 2006 se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-086, que en general establece especificaciones para los combustibles fósiles para la protección ambiental, dentro de las especificaciones destaca la reducción de azufre, que en gasolinas van de 500 a 30 partes por millón y en diesel de mil partes por millón a 15 partes por millón.

Es una norma conjunta entre la Secretaría de Energía, la Secretaría de Economía y la SEMARNAT y que pone a México a la vanguardia internacional de las especificaciones más estrictas en el mundo en relación con el contenido de azufre en las gasolinas y en el diesel.

Sin embargo, eliminar el azufre de los combustibles no es fácil. Las mejoras que se necesitan en las refinerías para remover el azufre son costosas. En el sistema Nacional de Refinerías (SNR) se están considerando varias alternativas para cumplir con la nueva norma:

- Modernizar las instalaciones existentes construidas en la década de 1990 que producen diesel de bajo azufre con una especificación de 500 ppm (en peso) de azufre.
- Construir instalaciones sobre la base de la nueva especificación.
- Realizar varias combinaciones de instalaciones nuevas y modernizadas.

En sus análisis más recientes, PEMEX sugiere la producción de gasolina y diesel de ultra bajo azufre, implicaría la inversión de capital importante para modernizar el SNR, tanto para reducir las emisiones en las refinerías como para producir combustibles más limpios de ultra bajo azufre (Barajas, 2006).

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO EN EL SECTOR HIDROS-REFORMADORA NO.1.

El sector Hidros-Reformadora No.1 se conforma de 6 unidades en operación las cuales se describen a continuación:

U-400. UNIDAD HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS.

Está diseñada para procesar 28,500 BPD de gasolina amarga y su objetivo es eliminar los compuestos de azufre y nitrógeno contenidos en la gasolina amarga, mediante la reacción de hidrogenación en un reactor catalítico de lecho fijo (Catalizador del tipo bimetálico a base de cobalto-molibdeno), con el fin de preparar la carga tanto a la planta reformadora de naftas, así como enviar pentanos y hexanos a una unidad de isomerización en el sector Hidros-Reformadora No.2.

Se divide en dos secciones:

- Sección de reacción: Está integrada básicamente por precalentadores de carga de tubos trenzados, un reactor, un compresor de recirculación de hidrogeno y un calentador a fuego directo, en esta sección se llevan a cabo las reacciones de hidrogenación catalítica.
- Sección de fraccionamiento: Está integrada por dos torres fraccionadoras y sus equipos periféricos (calentador de fondos, bomba de fondos, condensador, acumulador, bombas de reflujo, etc.), en la torre desbutanizadora se separan los ligeros de los hidrocarburos más pesados, posteriormente en la torre deshhexanizadora se separan los pentanos/hexanos que salen por el domo de la torre hacia la unidad de isomerización, mientras que por el fondo los hidrocarburos con C6 más pesados salen hacia la carga de la unidad reformadora de naftas.

U-500. UNIDAD REFORMADORA DE NAFTAS.

Está diseñada para procesar 20,000 BPD de gasolina dulce proveniente de la unidad Hidrodesulfuradora De Naftas y su objetivo es el mejorar la calidad de las gasolinas respecto al número de octano mediante el proceso de reformación catalítica, cuenta además con un sistema de regeneración (Unidad-300) continua de catalizador para prolongar los ciclos de vida de este mismo.

Los principales productos que se obtienen son: gasolina reformada de alto octano que puede ser de 92 a 95 octanos, el hidrogeno producto de la reacción de reformación y gases licuados y ligeros.

Esta unidad se integra de tres secciones:

- Sección de reacción: Está integrada por 4 reactores estacados con sus respectivas celdas en el calentador a fuego directo, en esta sección la carga liquida y el hidrogeno de recirculación se pone en contacto con el catalizador que es a base de platino, donde se lleva a cabo la reacción principal, que básicamente consiste en el reacomodo de los hidrocarburos naftenicos a hidrocarburos aromáticos, con un desprendimiento de hidrogeno, obteniéndose un octanaje alto dependiendo de la severidad de la reacción. El catalizador se envía a la U-300 para su regeneración.
- Sección de compresión: Cuenta con un compresor centrifugo de baja presión que recircula el hidrogeno hacia la sección de reacción, además tiene dos compresores reciprocantes de alta presión que proporcionan el hidrogeno requerido en las unidades Hidrodesulfuradora de Naftas e Hidrodesulfuradora de destilados intermedios.
- Sección de estabilización: Se integra de una torre fraccionadora y sus equipos periféricos (calentador de fondos, bomba de fondos, condensador, acumulador, bombas de reflujo, etc.), en esta torre se separa por el domo el contenido ligero y por el fondo se obtiene la gasolina reformada que se envía a tanques de almacenamiento.

U-600. UNIDAD TRATADORA Y FRACCIONADORA DE HIDROCARBUROS/TRATADORA DE GASES AMARGOS.

Está diseñada para procesar 260,000 m³D de gas amargo, su función es la de separar el H₂S contenido en las corrientes gaseosas provenientes de las unidades 400/700/800, y obtener gas dulce que se envía a la red de gas combustible y gas acido que se envía la planta de azufre mediante un absorbente de H₂S, la dietanolamina.

U-700/800. UNIDAD HIDRODESULFURADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS.

Está diseñada para procesar 25,000 BPD cada una de destilados intermedios y su objetivo es el de eliminar parcialmente los compuestos de azufre contenidos en los destilados intermedios mediante la reacción de hidrogenación catalítica en un reactor de lecho fijo con hidrogeno a una temperatura y presión controlada. Los principales productos son: Turbosina con calidad de exportación, Diesel con calidad ecológica por contener mínimas cantidades de azufre y gas amargo como resultado de la reacción.

Tiene dos secciones:

- Sección de reacción: Se integra de un tren de precalentamiento, un reactor, un compresor de recirculación de hidrogeno, un calentador a fuego directo y un separador de productos de reacción.
- Sección de agotamiento y fraccionamiento: Está integrada por una torre agotadora donde se efectúa la separación del gas amargo por el domo y por el fondo salen los hidrocarburos que posteriormente pasan a la torre fraccionadora, donde se obtiene por el domo nafta pesada y por el fondo salen los hidrocarburos dulces hacia el área de almacenamiento.

PARAMETROS DE OPERACIÓN DEL REACTOR DE LA UNIDAD 700 CON EL CATALIZADOR IMPULSE HR 1246 DE AXENS.

Las variables de proceso como presión, temperatura, velocidad espacial, relación H₂/HC, las cuales, de acuerdo a la termodinámica y la cinética, tienen un impacto en las reacciones presentes en este proceso (Ortega, 2014).

En la sección de reacción los parámetros son:

- Presión

La presión de la sección de reacción es controlada en el Separador de Alta Presión, FA-704.

Esta presión se ha seleccionado para mantener la presión parcial de hidrógeno (ppH₂) mínima requerida a la salida del reactor. Las presiones parciales de hidrógeno recomendadas se listan en la siguiente tabla:

DC-701	Mínima	Máxima
Presión parcial de H ₂ , min. kg/cm ²	36.3	34.7

Tabla 1. Presiones parciales de Hidrógeno, (Axens/Pemex Refinación 2014).

Se recomienda operar a la presión parcial de hidrógeno más alta. Cualquier exceso de calidad resultante puede balancearse mediante la disminución de temperatura, lo cual, a su vez, provocará un ciclo de corrida más largo. Para

ajustar la ppH_2 pueden ajustarse la presión de operación y/o el flujo de gas de recirculación (Ortega, 2014).

- Temperatura

La temperatura, junto con la velocidad espacial, es el parámetro de operación más importante y el más utilizado. La WABT (temperatura promedio ponderada del lecho) depende de la temperatura de entrada al lecho de catalizador, y asumiendo temperaturas de entrada dadas, la WABT estará en función de la reactividad de la carga de alimentación (velocidad espacial y la actividad intrínseca del catalizador). Durante la corrida de operación, las temperaturas del reactor se incrementarán para compensar la desactivación del catalizador. Esto se conseguirá mediante el incremento del punto de ajuste del respectivo controlador de temperatura de entrada al lecho (Ortega, 2014).

Las temperaturas de operación del reactor se ajustarán para cumplir la siguiente Temperatura Promedio Ponderada del Lecho (WABT siglas en inglés, "Weighted Average Bed Temperatura") en °C en el catalizador HR 1246:

DC-701	Mínima	Máxima
WABT (HR-1246)	348	385

Tabla 2. Temperatura promedio, (Axens/Pemex Refinación 2014).

Un incremento de temperatura (es decir, de WABT) tiene los siguientes efectos, asumiendo que la velocidad espacial (es decir, el flujo de carga) y las características de la carga permanece sin cambios:

- Se incrementa la actividad del catalizador (reacciones de desulfuración, desnitrógenación, hidrotreamiento...).
- Se disminuye la pureza del gas de recirculación.
- Se incrementa la depositación de coque.

A WABT constante, el envejecimiento del catalizador resultaría sólo en una ligera pero constante pérdida de su actividad. Un incremento ligero de temperatura (WABT) a través de la vida del catalizador compensa dicha pérdida de actividad.

El control de temperatura a la entrada del reactor es directo; actúa sobre la cantidad de gas combustible suministrado al calentador del reactor.

Todas las reacciones químicas importantes que se desarrollan son exotérmicas. Debido a esto, la temperatura se incrementa conforme la carga y el gas de recirculación pasan a través del lecho de catalizador. Es muy importante que el aumento en la temperatura, y particularmente la delta T, se controlen cuidadosamente en todo momento. Es posible generar más calor proveniente de las reacciones que el que las corrientes que fluyen pueden remover del reactor (Ortega, 2014).

- Velocidad Espacial

Una velocidad espacial incrementada, es decir, un flujo de carga incrementado, genera un desempeño menor, como la tasa de hidrogenación y la tasa de hidrodesulfuración, manteniendo iguales todas las otras condiciones.

El desempeño puede mantenerse si la temperatura se incrementa, sin embargo, esto es a costa de una tasa mayor de coquización. Inversamente, una velocidad espacial más baja o flujo reducido, significa tasas de hidrogenación y desulfuración más elevadas.

La disminución de la velocidad espacial tiene, por lo tanto, los mismos efectos que el incremento de la temperatura, es decir:

- Incrementa la actividad.
- Disminuye la pureza del H₂.
- Incrementa la depositación de coque.

Si el incremento de temperatura es limitado, ya sea por la carga térmica de diseño del calentador o por cualquier otro parámetro, la disminución de la velocidad espacial, es decir, del flujo, puede proporcionar un refuerzo adicional a la actividad del catalizador.

Se debe tener en mente que cada vez que cambie el flujo de carga líquida; debe aplicarse una corrección de la temperatura si se desean mantener las especificaciones del producto. Cuando la carga se incrementa, la temperatura se debe aumentar y viceversa, cuando la carga disminuya la temperatura debe disminuirse. Cuando se produzcan variaciones elevadas en el flujo de carga, una regla importante es:

-Para incremento de carga: Primero incrementar la carga y después ajustar el incremento de temperatura para cumplir con las especificaciones.

-Para reducción de carga: Primero disminuir la temperatura y después ajustar la reducción de carga para cumplir con las especificaciones.

Siempre que se esperen pequeñas variaciones de la velocidad espacial horaria del líquido (LHSV) al disminuir el flujo de carga, la carga puede reducirse primero y la temperatura puede ser ajustada en segundo lugar, para evitar la generación de productos fuera de especificación.

DC-701	Mínima	Máxima
Catalizador LHSV, hr ⁻¹	2.5	2.5

Tabla 3. Velocidad Espacial, (Axens/Pemex Refinación 2014).

- Relación Hidrógeno a Hidrocarburo

La relación H₂ de recirculación/HC a la entrada del reactor, es la relación de hidrógeno puro en el gas de recirculación, excluyendo el gas de reposición, en Nm³/h (a 0°C y 1 atm) sobre el flujo de carga fresca (Sm³/h a 15°C).

Se puede modificar la relación H₂/HC ya sea disminuyendo o aumentando el flujo de gas de recirculación enviado a la sección de reacción por medio del incremento o disminución del flujo de gas de recirculación dirigido directamente a la entrada del enfriador del efluente del reactor vía la línea de by-pass de gas de recirculación de la sección de reacción.

La relación H₂/HC no tiene un impacto obvio en la calidad del producto. Pero una relación H₂/HC elevada reduce la acumulación de coque e incrementa la duración del ciclo de corrida del catalizador.

Se recomienda mantener una relación H₂/HC mínima a la entrada del reactor. La tasa de recirculación mínima de H₂ en el reactor para todos los casos es como se indica a continuación.

DC-701	Mínima	Máxima
Tasa mínima de recirculación de H ₂ , Nm ³ /m ³	313	317

Tabla 4. Relación H₂/HC, (Axens/Pemex Refinación 2014).

REACCIONES CATALIZADAS POR SÓLIDOS.

La velocidad de un gran número de reacciones es afectada por la presencia de materiales que no son ni reactivos originales ni productos de la reacción. Estas sustancias llamadas catalizadores, pueden acelerar la velocidad de la reacción o también disminuirla.

Existen dos grandes grupos de catalizadores: aquellos que operan a una temperatura cercana a la del ambiente en sistemas bioquímicos, y los catalizadores hechos por el hombre que operan a alta temperatura. Los fabricados por el hombre, la mayoría sólidos, generalmente apuntan a lograr la ruptura o la síntesis de materiales a alta temperatura. Estas reacciones juegan un papel muy importante en muchos procesos industriales, tales como la producción de metanol, ácido sulfúrico, amoníaco y varios productos petroquímicos, polímeros, pinturas y plásticos.

Aunque un catalizador puede fácilmente acelerar la reacción en miles de veces, cuando se encuentra una gran cantidad de reacciones simultáneas, la característica más importante de un catalizador es su selectividad. Esto significa que el catalizador solo cambie la velocidad de ciertas reacciones, muchas veces la de una sola reacción, sin afectar a las demás. Así, en presencia del catalizador adecuado es posible obtener productos que contengan predominantemente los compuestos deseados a partir de una alimentación dada, (Levenspiel, 2004).

Las siguientes son indicaciones de tipo general.

- 1.- No se conoce bien el modo de seleccionar un catalizador para promover una reacción específica; por lo tanto, en la práctica se necesita realizar una amplia serie de pruebas antes de lograr un catalizador satisfactorio.
- 2.- La reproducción de la constitución química de un buen catalizador no garantiza que el sólido obtenido tenga actividad catalítica. Esta observación sugiere que la actividad del catalizador viene dada por su estructura física o cristalina. Este punto de vista se refuerza al considerar el hecho de que al calentar un catalizador por encima de una temperatura crítica este podría perder su actividad, a menudo permanentemente. Así, la investigación actual de los catalizadores se centra en gran medida en la estructura de la superficie de los sólidos.

PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

RECONOCIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN LA UNIDAD 700.

Para describir el proceso lo hare por equipos y dividiré la unidad en dos secciones que serán sección de reacción y sección de agotamiento y fraccionamiento.

Sección de Reacción:

- FA-701: Este tanque es horizontal de tapaderas cilíndricas con dimensiones de 2.743 m de diámetro y 8.534 m de largo, es decir, de 50,430 L de capacidad. Este tanque recibe la alimentación de nafta pesada a razón de 25,000 BPD y opera a las condiciones de 38°C y una presión de 2.1 kg/cm².
- EA-701 A-H: Estos 8 intercambiadores de calor esta arreglados en forma de dos trenes paralelos, son de tubos y coraza en arreglo paralelo y de acero al carbón. Se recibe la carga del FA-701 y que pasa por las bombas de alimentación que aumentan la presión a 67.5 kg/cm². Antes que la carga llegue a estos intercambiadores se une con una corriente de H₂, esta formada por la mezcla de las corrientes de H₂ de recirculación proveniente del compresor GB-701 y del H₂ fresco requerido para las reacciones de hidrosulfuración, el cual es proporcionada por la U-500. Estos flujos ya mezclados pasan por el lado de la coraza y por el lado de tubos pasa el efluente del reactor que se usa para elevar la temperatura de la carga hasta más 200°C.
- BA-701: El calentador a fuego directo es un horno de tipo vertical, con serpentín de tubos horizontales, es de acero al carbón con refractario en su interior, puede funcionar con combustible, gas o combustóleo. En cada cabezal de los serpentines tienen manómetros y sensor de temperatura al igual que a la salida. Los efluentes del calentador se unen en un cabezal común para dirigirse al reactor a 350°C y 55.5 kg/cm².
- DC-701: Este reactor es de lecho fijo con tubos empacados de catalizador, es de acero al carbón. En este reactor se llevan a cabo reacciones de hidrosulfuración en la que básicamente se descompone la carga para dar lugar a la formación de hidrocarburos y compuestos que tengan el azufre y se puede eliminar de este. Se muestran algunos ejemplos en la siguiente figura.

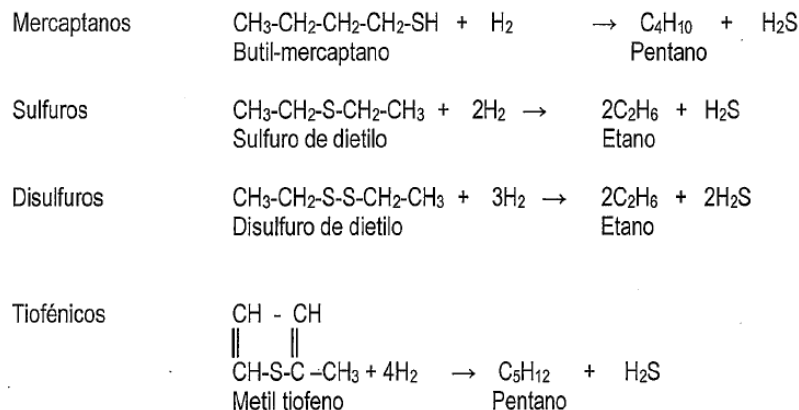


Figura 5. Reacciones de hidrodesulfuración, (Barbosa et al. 2014).

El efluente del reactor que está a 350°C y 53.8 kg/cm², pasa por los tubos de los intercambiadores EA-701 A/H, y por el lado de coraza de los enfriadores EA-702 AB hasta llegar a un tanque separador de los productos FA-704, así el efluente del reactor logra enfriarse hasta los 50°C aproximadamente.

-FA-704: Este tanque separador a alta presión es horizontal y separa los componentes líquidos de los gaseosos provenientes del reactor, la fase líquida que contiene el producto deseado se envía a la sección de agotamiento y fraccionamiento para seguir su proceso; y la fase gaseosa se envía a un tanque de succión FA-702, esta que es rica en Hidrógeno se recircula hacia la línea de alimentación de nafta por medio del compresor GB-701.

Sección Agotamiento y Fraccionamiento:

-DA-702: Esta torre de destilación está formada por 10 platos y es de acero al carbón, su función es eliminar gases como H₂ y H₂S e hidrocarburos más ligeros. Las condiciones de operación son 6.3 kg/cm² y 163°C en el domo, y 6.5 kg/cm² y 163°C en el fondo. El vapor requerido es suministrado en los fondos de la torre a 17.6 Kg/cm² y 310°C. Los vapores que salen del domo se condensan en los intercambiadores EA-703 AB y se reciben en un tanque acumulador FA-705 y de este se envía los HC's ligeros y gases hacia la planta de tratamiento de gas. La fase líquida que queda en el fondo de la torre se envía a la torre fraccionadora.

-DA-701: La torre fraccionadora se conforma por 26 platos; esta recibe los fondos de la torre agotadora en el plato No. 11, después de haberse precalentado en los intercambiadores EA-704 AF a una temperatura aproximada de 216°C. La torre opera en el domo a 96°C y 2.5 kg/cm² y el fondo a 271°C y 2.7 kg/cm², el calor que se requiere durante la operación

se suministra por el rehervidor de fondos BA-702. Los gases del domo se envían a los condensadores EA-705 AB y se reciben en un acumulador FA-706 donde los gases que no logran ser condensados se envían a desfogue y el condensado se recircula a torre en el plata No. 1; el diesel producto final de la fraccionadora se envía del fondo de la torre a los intercambiadores EA-704 A/F y EA-706 A/D para precalentar las cargas a las torres y posteriormente pasa a un enfriador para después pasar a almacenamiento a tanques.

ANALIZAR LOS PARAMETROS MEDIANTE EL CUAL SE VIGILA LA PRODUCCIÓN DE DIESEL UBA.

En la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, en 2015, se arrancó el proyecto para producir Diesel UBA, como parte del proyecto de Pemex de producir combustibles limpios, dentro de este proyecto se contempló la construcción de nuevas plantas, pero además de modernizar otras para producir combustibles limpios.

Una de las modernizaciones incluía el cambio de catalizador de la Unidad 700 para producir Diesel UBA; a 3 años del cambio analizare los parámetros con los cuales se vigila que el diesel producido sea ultra bajo azufre.

Con base a la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 y NOM-EM-005-CRE-2015, las especificaciones con las que el Diesel se debe producir se muestran en la siguiente figura.

NOMBRE DEL PRODUCTO:			PEMEX DIESEL	DIESEL ⁽¹⁾
Propiedad	Unidad	Método de prueba		
Peso específico a 20°C	–	Densidad, densidad relativa (gravedad específica o gravedad de petróleo crudo y productos líquidos de petróleo por el método hidrométrico). (ASTM D 1298-99e2)	informar	informar
Temperaturas de destilación: Temp. inicial de ebullición: el 10 % destila a el 50 % destila a el 90 % destila a Temp. final de ebullición	°C	Destilación de productos de petróleo. (ASTM 086-05)	informar 275 máximo informar 345 máximo informar	– informar – 350 máximo –
Temperatura de inflamación	°C	Temperatura de inflamabilidad: Prueba Pensky-Martens de copa cerrada (ASTM 093-02 ^a)	45 mínimo	60 mínimo
Temperatura de escurrimiento	°C	Punto de fluidez de productos (ASTM 097 -05a)	Marzo a octubre: 0°C máximo; febrero: -5°C máximo	
Temperatura de nublamiento	°C	Punto de enturbamiento de combustibles de petróleo (ASTM D 2500-05)	informar ⁽²⁾	informar
Número de cetano	–	Número de cetano del diesel (ASTM 0613-05)	48 mínimo	
Índice de cetano		Cálculo del índice de cetano de combustibles destilados (ASTM 0976-04be1)	48 mínimo	40 mínimo
Azufre total	ppm peso	Determinación de azufre en productos de petróleo por espectroscopia de rayos X de fluorescencia por dispersión de energía. (ASTM D 4294-03) Determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros. (ASTM D 5453-05)	500 máximo Zona Fronteriza Norte ⁽⁵⁾ Enero 2007: 15 máximo ZMMV, ZMG, ZMM Enero 2009: 15 máximo Resto del País Septiembre 2009: 15 máximo	5000 máximo

Figura 7. Especificaciones para Diesel, (Diario Oficial de la Federación. 2006).

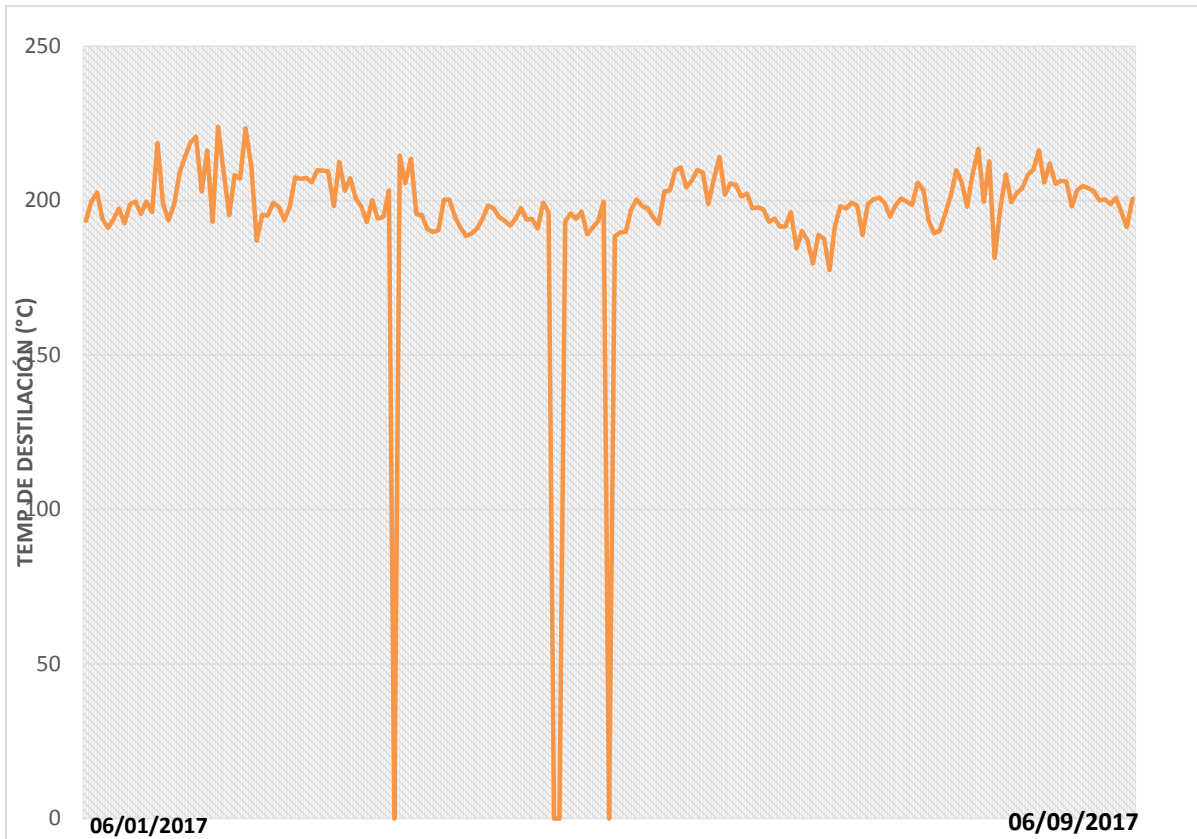
Corrosión al Cu, 3 horas a 50°C	-	Detección de corrosión por cobre en productos de petróleo por la prueba de mancha de tira de cobre (ASTM 0130-04)	estándar # 1 máximo	estándar # 2 máximo
Residuos de carbón (en 10% del residuo)	% peso	Residuos de carbón Ramsbottom de productos de petróleo. (ASTM 0524-04)	0.25 máximo	0.25 máximo
Agua y sedimento	% vol	Agua y sedimento en combustibles de destilación media por centrifugado (ASTM D 2709-06 (2001)e1)	0.05 máximo	0.05 máximo
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (cálculo de viscosidad dinámica) (ASTM 0445-04e2)	1.9 a 4.1	1.9 a 4.1
Cenizas	% peso	Cenizas en productos de petróleo (ASTM 0482-03)	0.01 máximo	0.01 máximo
Color	-	Color de productos de petróleo/ visual (ASTM D 1500-04 ^a)	2.5 máximo	Morado
Contenido de aromáticos	% vol	Tipos de hidrocarburos en productos líquidos de petróleo por absorción de indicador fluorescente. (ASTM D 1319-03)	30 máximo	-
Lubricidad ⁽³⁾	micrones	HFRR Test (ISO 12156)	520 máximo	
HAPS	% vol		Informar	

Figura 7. Especificaciones para Diesel (continuación), (Diario Oficial de la Federación. 2006).

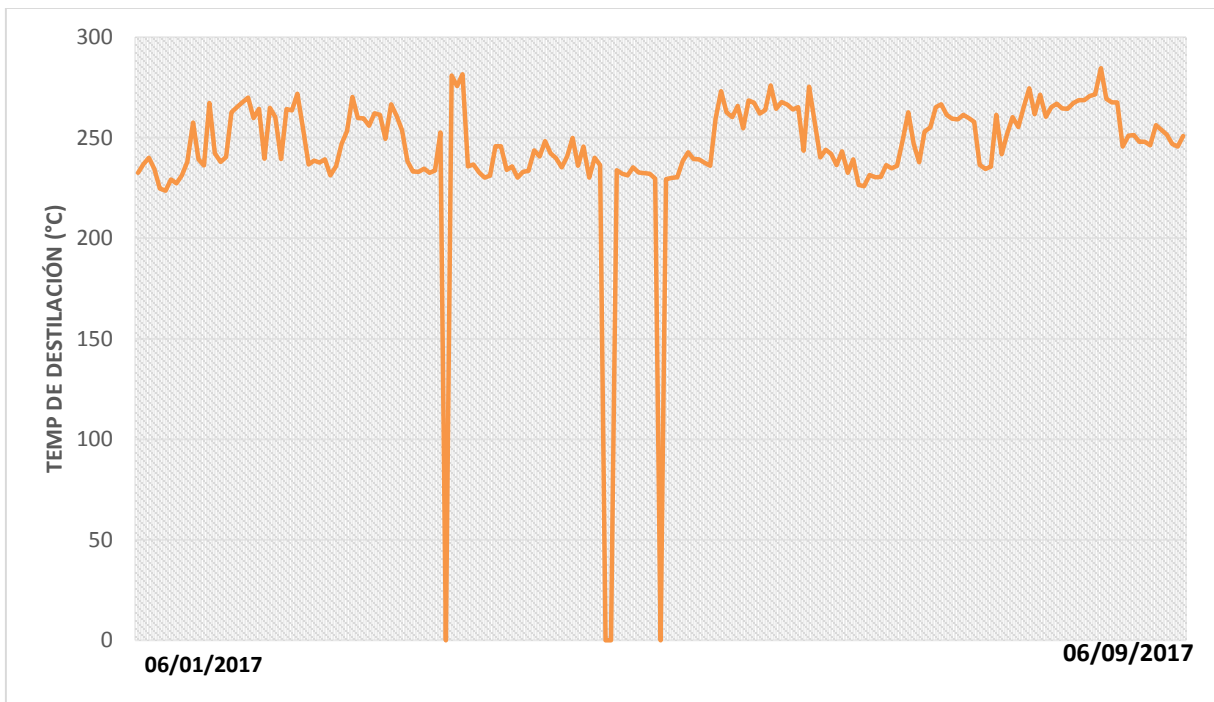
Para cumplir con estas especificaciones en la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime” se realizan pruebas de laboratorio para corroborar que se cumplan con estas. Dentro de estas pruebas se encuentran:

- Destilación de productos derivados del petróleo. (ASTM D-86)
- Punto de Fluidez de productos. (ASTM D-97)
- Cálculo del índice de cetano de combustibles destilados. (ASTM D-976)
- Determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros. (ASTM D-5453)
- Residuos de carbón Ramsbottom de productos de petróleo.(ASTM D-524)
- Color de productos de petróleo. (ASTM D-1500)
- Lubricidad de Diesel. (HFRR)

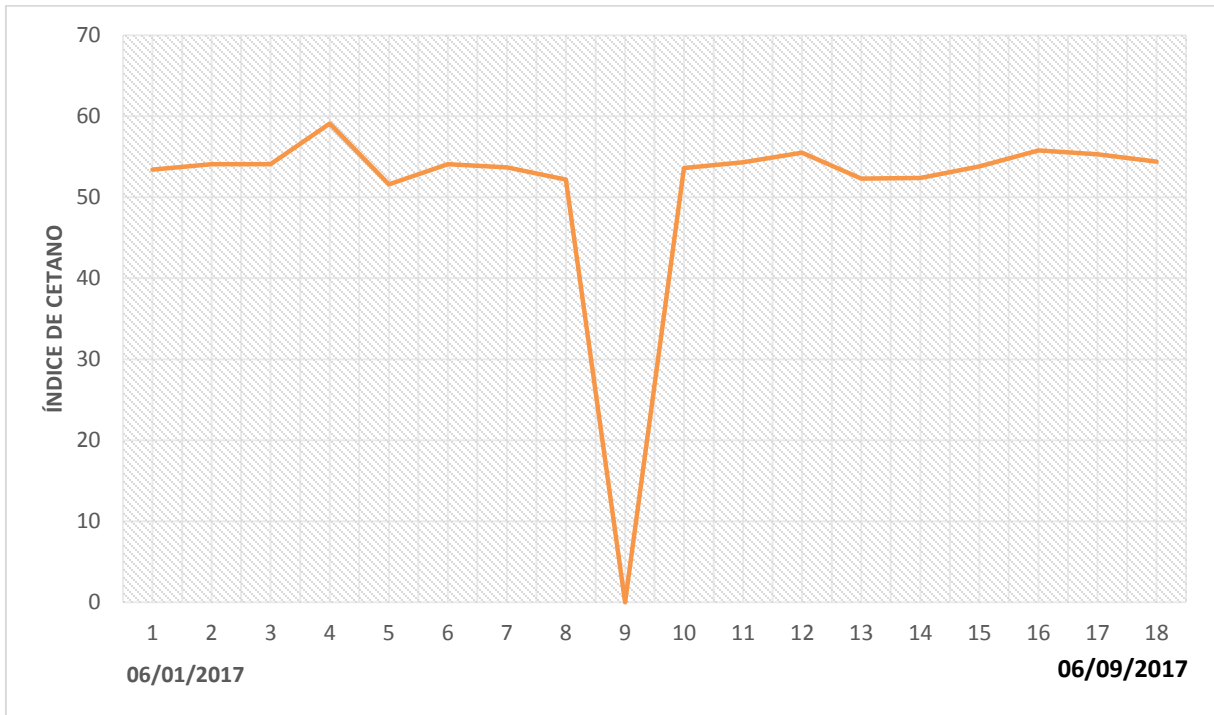
Según datos del sistema de la refinería durante el periodo de Enero del 2017 a Septiembre del 2017 se realizaron las pruebas antes mencionadas y los resultados se muestran en las siguientes gráficas. Para ver los datos completos ir al anexo 1.



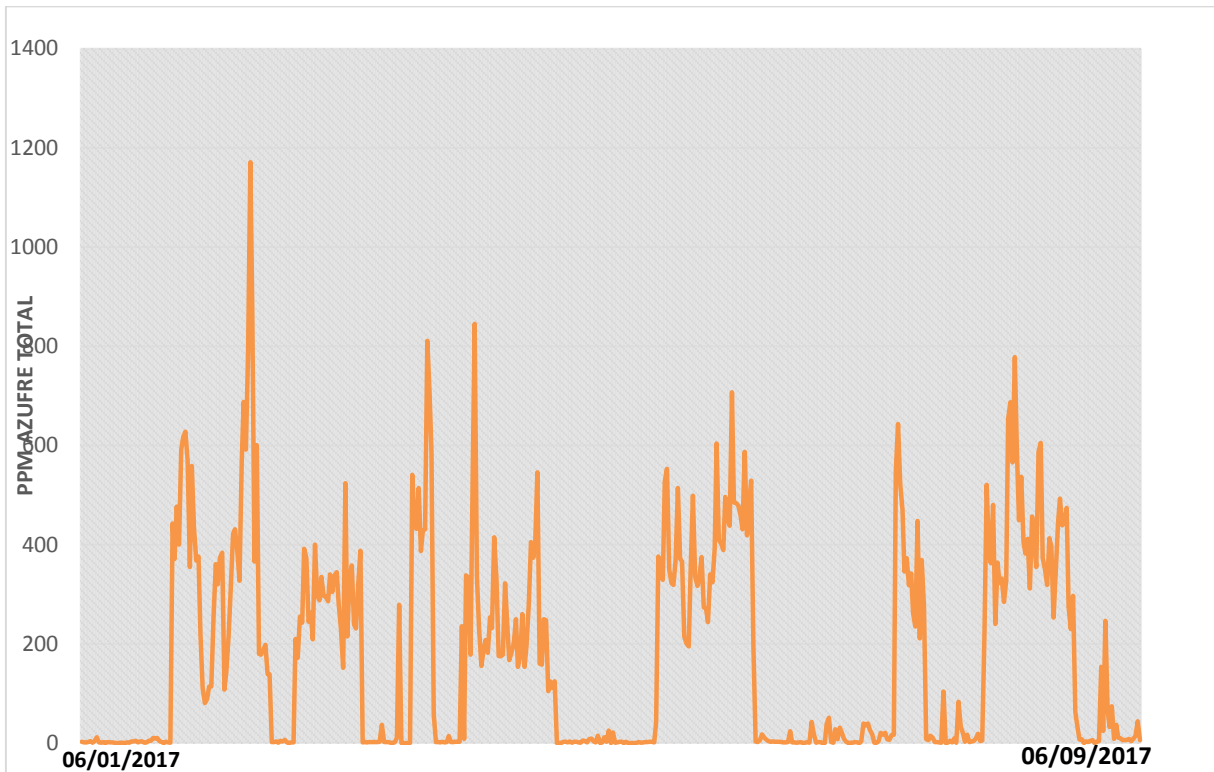
Gráfica 1. Temperatura de destilación al 10% en Diesel producido en la U-700.



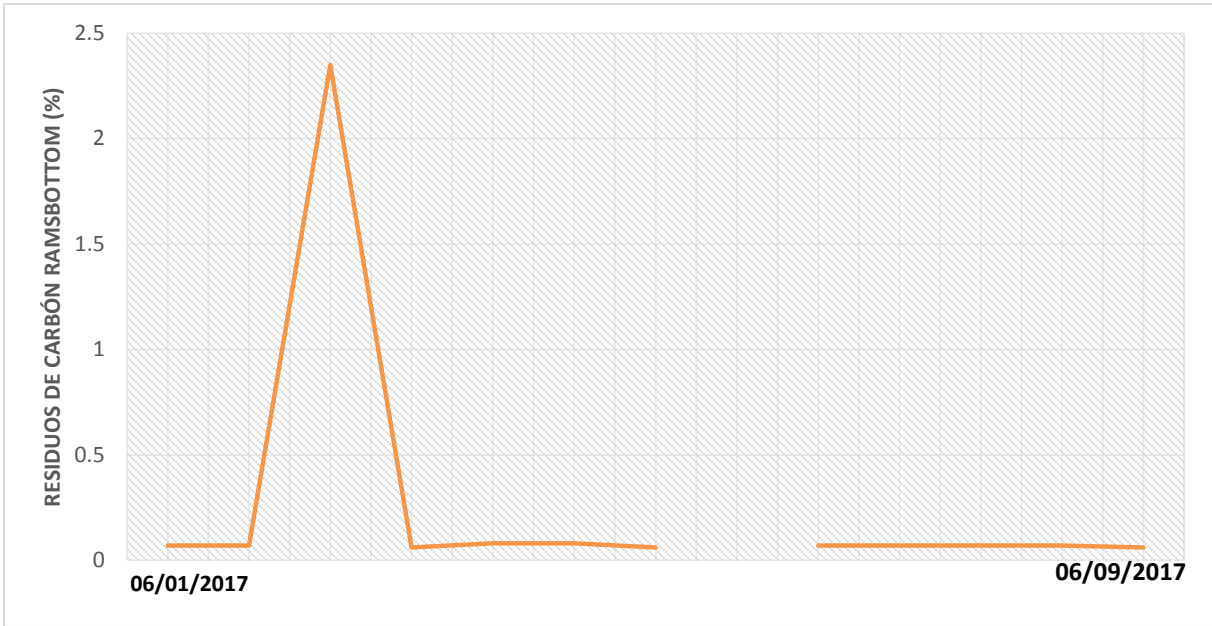
Gráfica 2. Temperatura de destilación al 50% en Diesel producido en la U-700.



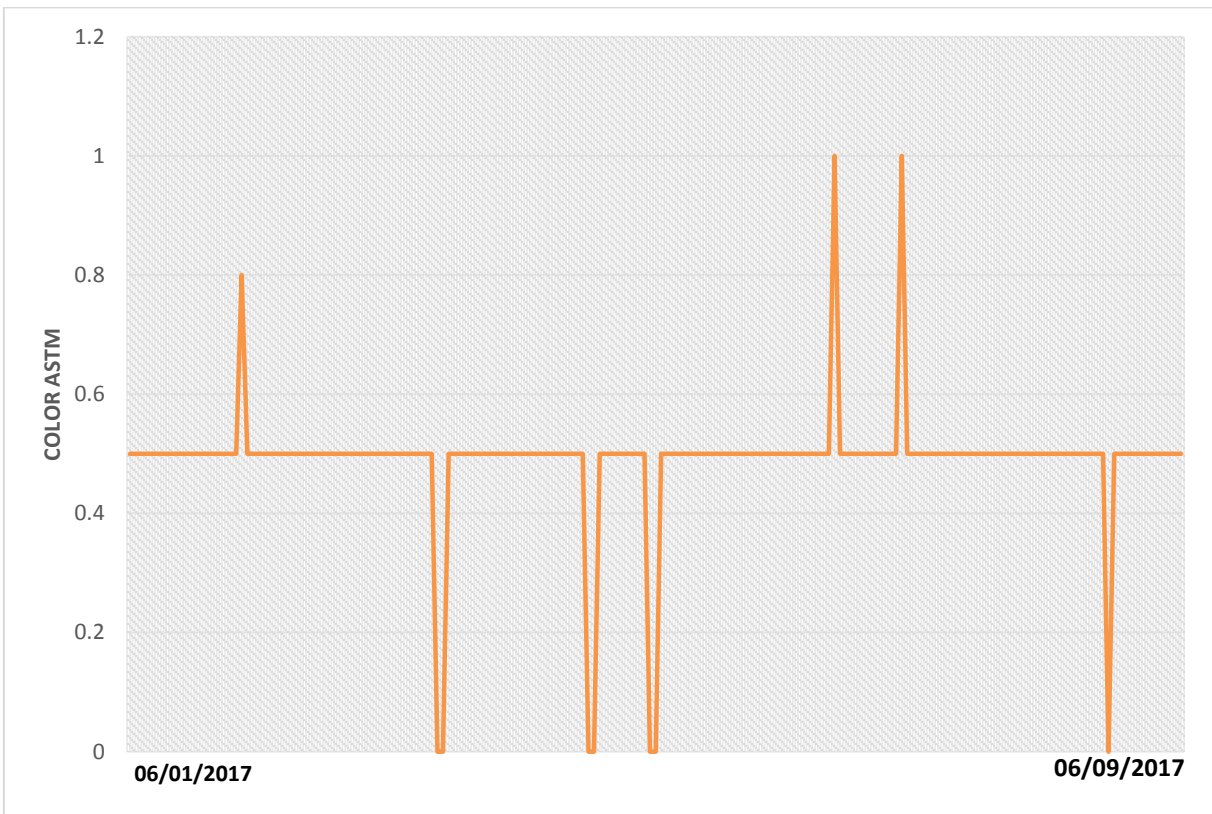
Gráfica 5. Índice de cetano en Diesel producido en la U-700.



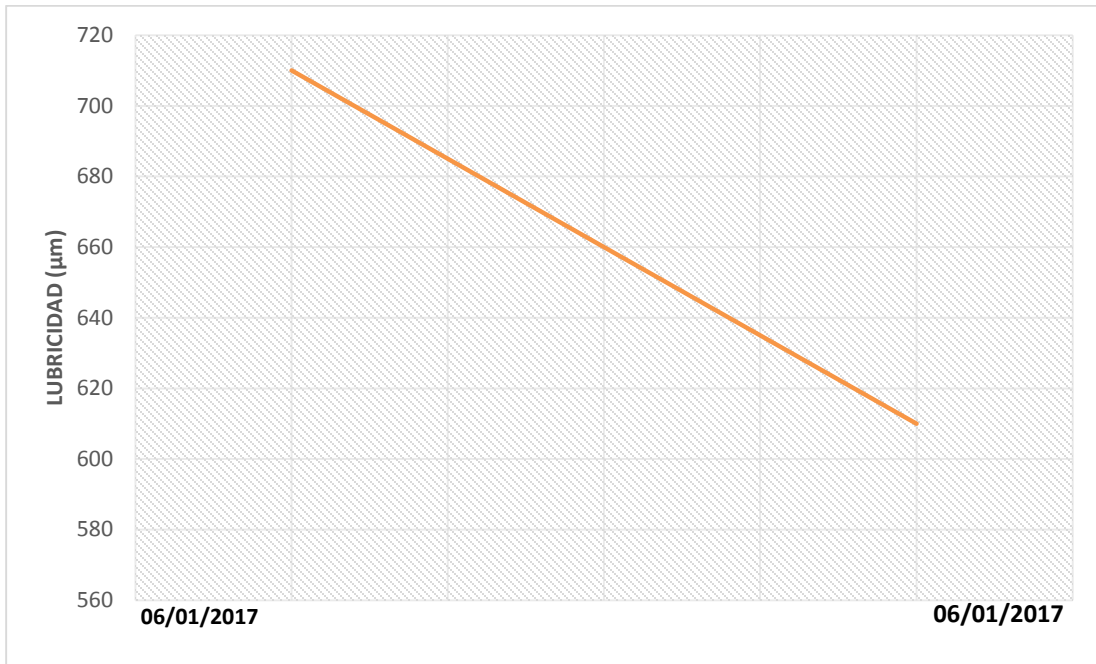
Gráfica 6. Azufre total en Diesel producido en la U-700.



Gráfica 7. Residuos de carbón Ramsbottom en Diesel producido en la U-700.



Gráfica 8. Color de productos del petróleo en Diesel producido en la U-700.



Gráfica 9. Lubricidad en Diesel producido en la U-700.

EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL CATALIZADOR USADO EN LA UNIDAD 700.

El catalizador usado en el reactor DC-701 es el Impulse HR 1246 de Axens, compuesto de Cobalto/Molibdeno; este fue cargado al reactor en abril del 2015 para poner en marcha la planta en mayo de ese mismo año.

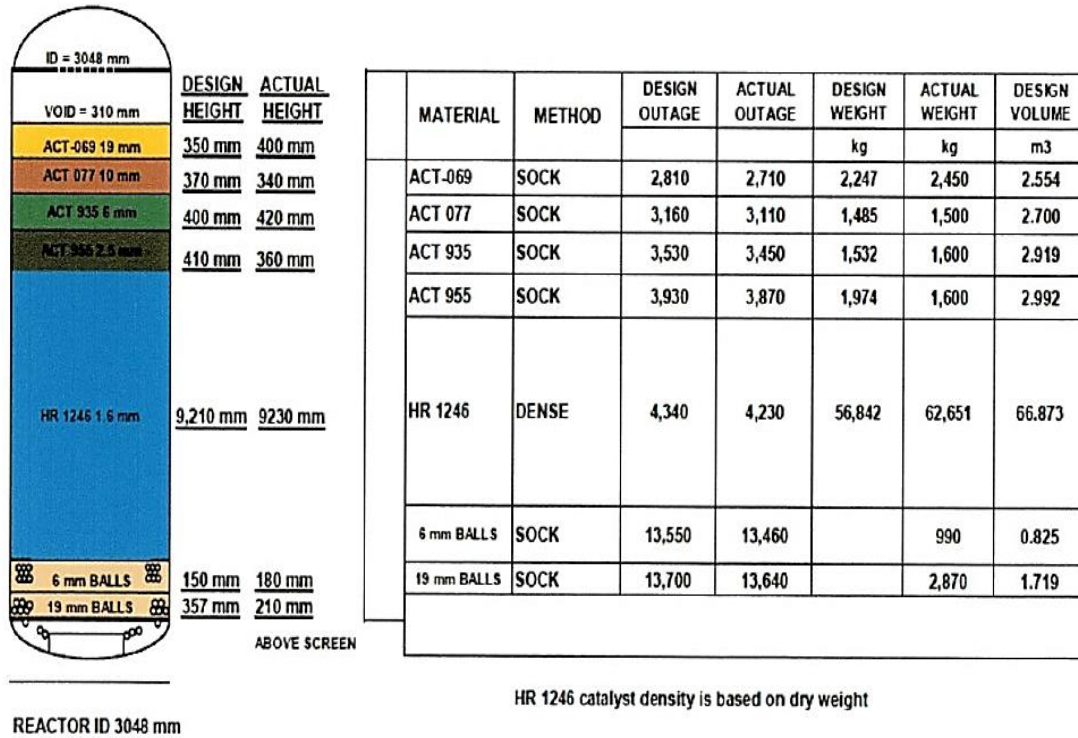
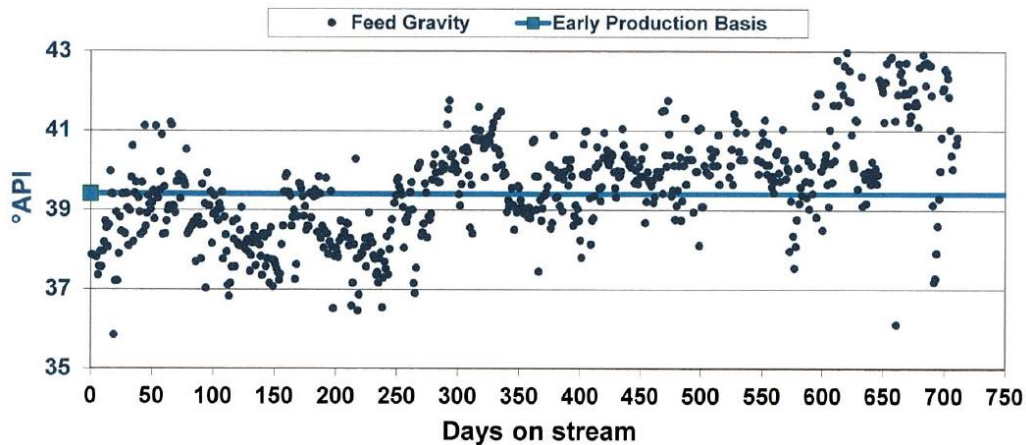


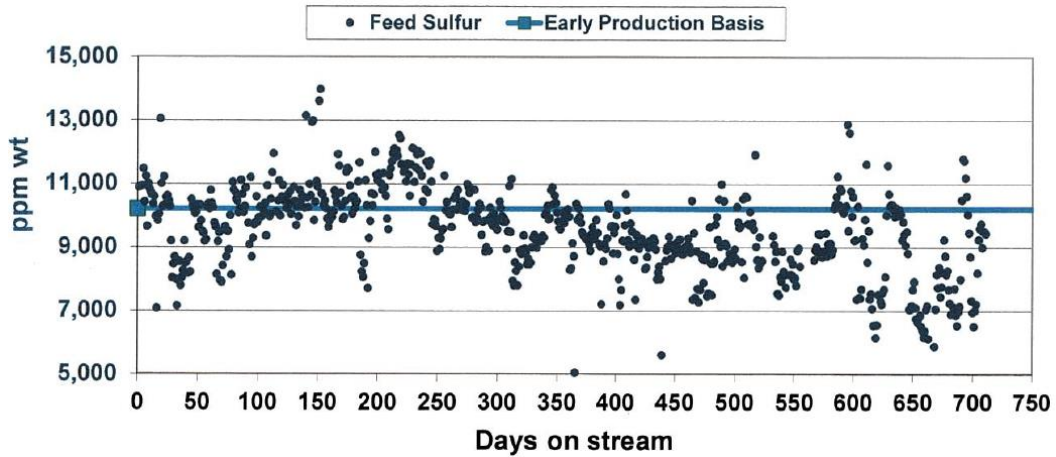
Figura 8. Diagrama de cargado del Reactor DC-701, (Axens/Pemex Refinación. 2015).

Para evaluar el catalizador primero veremos las tendencias con las cuales ha operado la planta y en especial el reactor, durante 750 días, para saber si el catalizador ha tenido las condiciones óptimas que necesita.



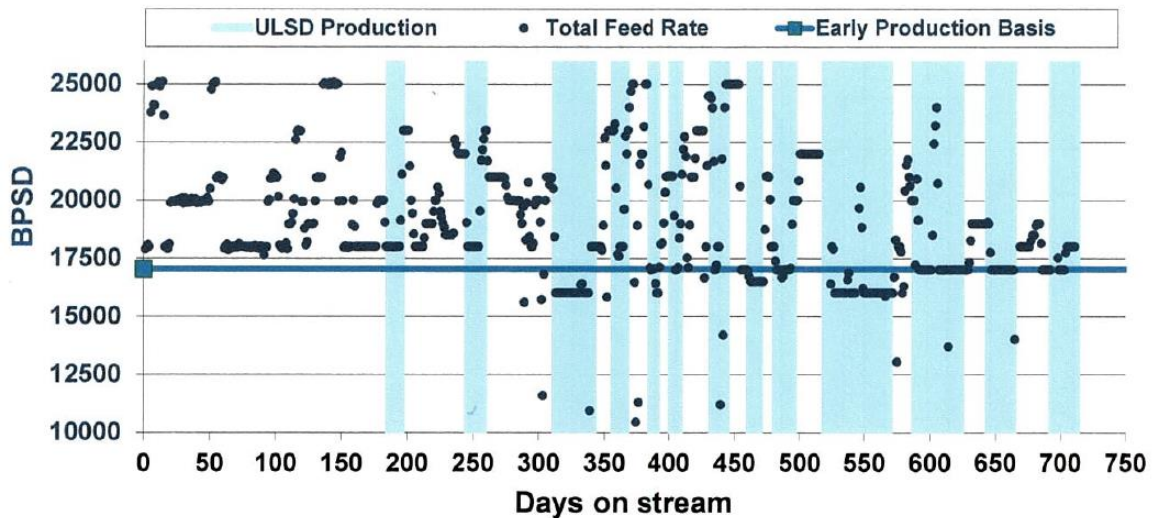
Gráfica 10. Grados API de la carga al reactor DC-701. (Pemex Salina Cruz. 2017).

Se puede observar como la carga tendió a ser más ligera en los últimos meses y por lo tanto es más fácil de procesar.



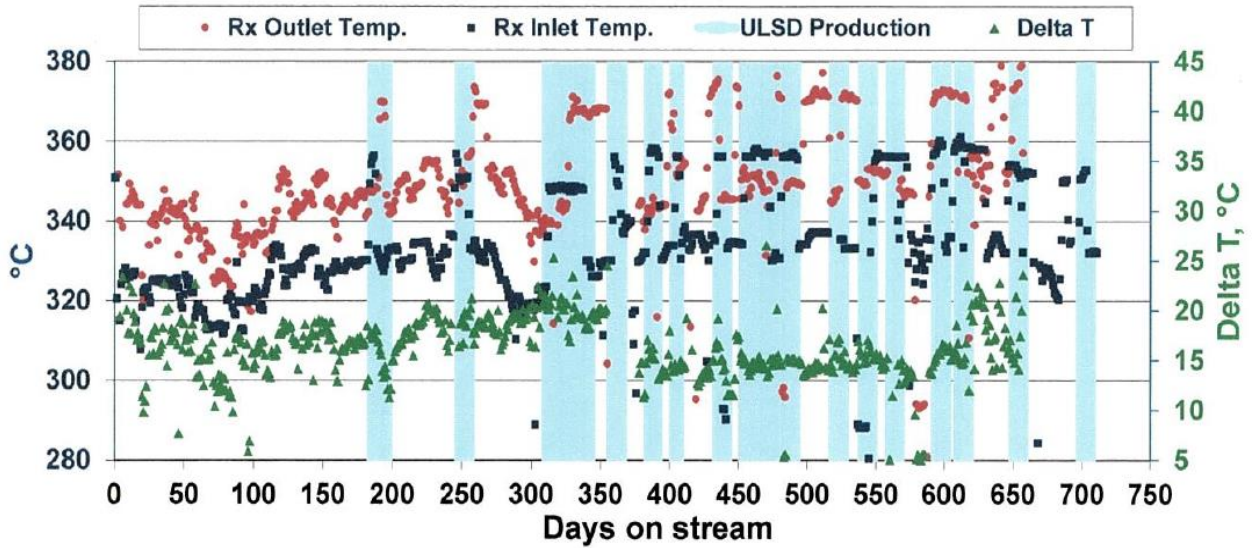
Gráfica 11. Azufre total en la carga al reactor DC-701. (Pemex Salina Cruz. 2017).

Como se mencionó, cuando la carga es más ligera es más fácil de procesar, esto debido a que como se ve en la gráfica el contenido de azufre tiende a ser menor en los últimos meses.



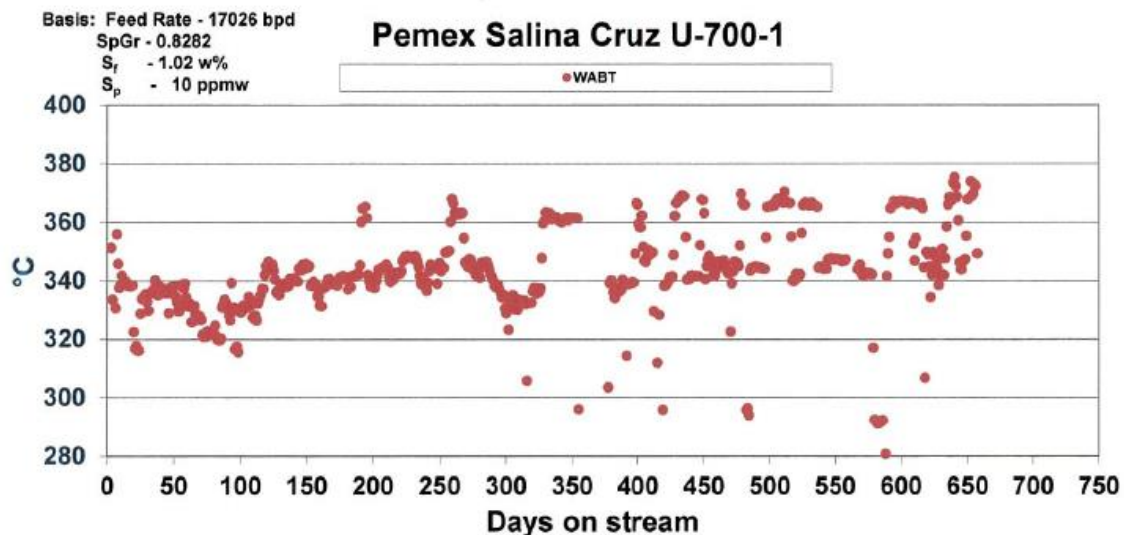
Gráfica 12. Carga al reactor DC-701. (Pemex Salina Cruz. 2017).

Como sabemos la planta esa diseñada para procesar 25,000 BPD, en el gráfico se muestra la carga que se tuvo y los periodos en que se produjo Diesel UBA.



Gráfica 13. Temperaturas en el Reactor DC-701. (Pemex Salina Cruz. 2017).

En la gráfica anterior se muestran las temperaturas a la entrada y a la salida el reactor, se puede observar que la temperatura de entrada al reactor no es mayor a 385°C (Temperatura estimada como final de corrida), por lo que se considera que el catalizador puede prolongar su ciclo de vida.



Gráfica 14. Temperatura Promedio Ponderada del Lecho. (Pemex Salina Cruz. 2017).

En la gráfica 12 se muestra las temperaturas que se dieron durante la reacción, por lo que se considera que el catalizador aún puede seguir trabajando con estas condiciones.

ANALIZAR Y PROPONER NUEVAS TECNOLOGÍAS Y CONDICIONES DE PROCESO PARA PRODUCIR DIESEL UBA QUE CUMPLAN CON LAS NORMAS Y REGLAMENTOS NACIONALES.

Para poder proponer procesos y nuevas tecnologías para producir Diesel UBA tomaré en cuenta los siguientes puntos:

- Características y variaciones de la alimentación.
- Selección del catalizador.
- Condiciones de proceso y diseño del equipo.

-Características y variaciones de la alimentación: La carga o alimentación a la planta de proceso es la primera consideración que debemos tener para producir Diesel UBA. Una carga baja en azufre, nitrógeno y compuestos aromáticos facilitará la reacción de hidrosulfuración, ya que al presentarse más de estos compuestos la temperatura en el reactor debe ser mayor, por lo que la tasa de desactivación del catalizador incrementa y reduce su actividad.

Por lo tanto, se recomienda adoptar nuevas tecnologías; una de ellas puede ser una nueva tecnología desarrollada por el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) que permite “aligerar” los crudos pesados y extra-pesados, incrementando su gravedad API en 9-12 grados.

En comparación con la tecnología de coquización retardada que actualmente está en la industria, la ventaja principal de la tecnología IMP es el rendimiento de producto. A partir de 100 barriles de crudo de 13°API se obtienen 104 barriles de crudo mejorado; mientras que con coquización retardada a partir de 100 barriles de crudo de 13° API se obtienen 80 barriles de crudo mejorado.

En comparación con las tecnologías convencionales de hidrosulfuración (H-Oil o LC-Fining), las ventajas principales de la tecnología IMP son: menores costos de inversión y menor consumo de hidrógeno y de catalizadores, además de una operación mucho más segura y estable.

Propiedad	Crudo de 10°API	Crudo mejorado	Crudo de 16°API	Crudo mejorado
Gravedad API	9.89	22.6	15.93	25.2
Azufre, %peso	5.72	1.10	4.60	1.10
Metales (Ni+V), ppm	588	99	430	97
Asfaltenos, %peso	20.9	8.3	15.7	4.7
Viscosidad a 25°C, cSt	165,860	89	3,173	50

Tabla 5. Propiedades de crudos mejorados obtenidos a partir de crudos de 10 y 16°API durante la prueba semi-industrial de la tecnología IMP. (Industria petrolera mexicana. 2010).

- Requerimientos de calidad del producto: Como lo mencione antes existen normas mexicanas que dan las especificaciones con las cuales deben contar los combustibles UBA; en la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime” si bien se llevan a cabo algunas pruebas de laboratorio para corroborar que el Diesel sea producido con las especificaciones que marcan las Normas Mexicanas, no se realizan con una periodicidad adecuada para asegurar que se cumplen las especificaciones.

Si bien

-Selección del catalizador: Si bien, el catalizador con el cual funciona actualmente la Unidad 700 aún tiene vida útil, existen nuevas tecnologías en catalizadores que podrían dar mejores resultados, como lo son las siguientes:

- Centinel Gold: Este catalizador de Criterion ofrece mayor desempeño para plantas de producción de Diesel UBA con presiones moderadas a altas. LA tecnología Centinel Gold produce catalizadores que proporcionan un significativo mejor desempeño, debido a su mejorada utilización de metales; perfecto para operaciones de hidrotreatmento de destilados con presiones parciales de hidrogeno de moderadas a altas. También tiene un incremento significativo en la actividad de desnitrogenación y desulfuración, por lo tanto, puede entregar una mayor calidad del producto, corridas mayores, incremento de la capacidad y mayores tasas de producción.
- Ascent: También perteneciente a Criterion, es un catalizador para plantas que trabajen con presiones bajas a moderadas, es decir, que tienen una actividad de desulfuración alta para operaciones de hidrotreatmento con presiones parciales de hidrógeno de bajas a moderadas. Ascent entrega actividad y estabilidad aumentadas para una amplia gama de propiedades de alimentación. Debido a que los catalizadores Ascent puede ser regenerados con tecnología convencional, se pueden alcanzar las especificaciones de Diesel UBA por ciclos múltiples con la misma carga de catalizador con una muy baja inversión adicional.
- Axens HR 526: Este catalizador es ideal para refinerías con poca disponibilidad de hidrogeno, debido a su baja actividad de hidrogenación, su actividad de eliminación de azufre extremadamente alta permite que se utilizado para desulfuración profunda de diesel que contiene materiales craqueados en plantas de presión media a baja.
- Axens HR 568: Este catalizador de CoMo con un promotor de níquel es una única formulación capaz de desulfurar los componentes más refractarios con impacto limitado en el consumo de hidrogeno. Además, HR 568 proporciona una flexibilidad operacional de alimentación, la cual puede ser

un factor importante en el desempeño de la refinería y es aplicable sobre un amplio intervalo de alimentaciones y presiones de operación.

-Condiciones de proceso y diseño de equipos: Dentro de las condiciones a cuidar están velocidad espacial, volumen de catalizador, presión parcial de hidrogeno, pureza del hidrogeno y temperatura del reactor.

Las refinerías deben optimizar la velocidad espacial del reactor, la cantidad de hidrógeno en el gas tratado, presión parcial de hidrógeno, y la temperatura del reactor durante la fase de diseño del proceso para una longitud de ciclo.

La tasa de desactivación del catalizador disminuye con el incremento de la presión parcial de hidrogeno; por lo tanto, la velocidad espacial puede incrementarse por una constante de longitud de ciclo. Esto es, sin embargo, a expensas de un mayor consumo de hidrogeno. Además se deberá diseñar un reactor más grande del que se tiene en la unidad 700 que traerá consigo un calentador de mayor tamaño y cambios en toda la unidad.

RESULTADOS

Ahora compararemos los resultados de las pruebas realizadas en la refinería contra las especificaciones que debe tener el Diesel UBA según la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 y NOM-EM-005-CRE-2015. (Durante el periodo Enero-Septiembre 2017)

PRUEBA	RESULTADO DE LA PRUEBA SEGÚN MUESTRAS DE LA UNIDAD 700 (PROMEDIO)	ESPECIFICACIÓN DE LAS NOM'S
Destilación de producto de petróleo.	249.12°C	345°C (Máximo)
Temperatura de fluidez de productos	-19.2670°C	-2.5°C (Máximo)
Índice de cetano de combustibles destilados	54.1	48 (Mínimo)
Determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros	176.6796 ppm	15 ppm (Máximo)
Residuos de carbón Ramsbotton en productos del petróleo	0.2591 % peso	0.25 % peso
Color de producto de petróleo	0.5071	2.5
HFFR test	660 micrones	520 micrones

Tabla 6. Comparación de especificaciones para Diesel UBA.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a las pruebas de laboratorio, no se cumplen todas las especificaciones de las NOM's. Esto se puede deber a muchos factores, entre ellos la calidad de la carga, la relación espacio velocidad en el reactor o incluso el desgaste del catalizador.

Como se mencionó, se requiere de una inversión en la unidad 700, que va desde el cambio de catalizador hasta el diseño de un reactor de mayor capacidad que garantice una producción adecuada.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

- Responsabilidad de horarios y laboral.
- Trabajo en equipo y cooperación.
- Iniciativa.
- Flexibilidad y adaptación a diversos entornos y situaciones.
- Toma de decisiones.
- Investigación y aplicación de conocimiento tecnológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- 1.- Martínez, A. E.; Díaz de Mera, M. Y. Contaminación atmosférica. Revista de la Universidad de Castilla-La Mancha. Capítulo 1. 2004.
- 2.- Molina, M. Propuesta para limpiar el aire en México en 10 años. Reporte del taller sobre contaminación en México. Instituto Nacional de Ecología. 2004.
- 3.- Barajas, Á. M. Alternativas tecnológicas para producir diesel de ultra bajo azufre en el sistema nacional de refinerías. Insituto Politécnico Nacional. 2006.
- 4.-Barbosa, L. A.; Vega, F. A.; De Rio, A. E.; Hidrodesulfuración De Crudos De Petrleo: Base Para El Mejoramiento De Combustibles. Universidad de Cartagena. 2014.
- 5.- Levenspiel, O. Ingeniería de las Reacciones Químicas. 3era Edición. México. Limusa Wiley. Capítulo 18. 2004.
- 6.- <http://www.ref.pemex.com/octanaje/22salina.htm>
- 7.- <http://www.ref.pemex.com/octanaje/22salina.htm>
- 8.- http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2107972&fecha=30/01/2006
- 9.- <https://www.axens.net/product/catalysts-a-adsorbents/5014/impulse-hr-1246.html>
- 10- <http://www.industriapetroleramexicana.com/tag/gravedad-api/>
- 11.- <http://www.industriapetroleramexicana.com/tag/azufre/>